N° 82-003-X au catalogue
ISSN 1209-1375

Rapports sur la santé

# Exposition aux émissions industrielles de polluants atmosphériques et fonction pulmonaire chez les enfants : Enquête canadienne sur les mesures de la santé, 2007 à 2011

par Suzy L. Wong, Allan L. Coates et Teresa To

Date de diffusion : le 17 février 2016

Statistique Canada Statistics Canada

Canada

## Comment obtenir d'autres renseignements

Pour toute demande de renseignements au sujet de ce produit ou sur l'ensemble des données et des services de Statistique Canada, visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca.

Vous pouvez également communiquer avec nous par :

**Courriel à** STATCAN.infostats-infostats.STATCAN@canada.ca

**Téléphone** entre 8 h 30 et 16 h 30 du lundi au vendredi aux numéros sans frais suivants :

- Service de renseignements statistiques 1-800-263-1136
- Service national d'appareils de télécommunications pour les malentendants 1-800-363-7629
- Télécopieur 1-877-287-4369

**Programme des services de dépôt**

- Service de renseignements 1-800-635-7943
- Télécopieur 1-800-565-7757

## Normes de service à la clientèle

Statistique Canada s'engage à fournir à ses clients des services rapides, fiables et courtois. À cet égard, notre organisme s'est doté de normes de service à la clientèle que les employés observent. Pour obtenir une copie de ces normes de service, veuillez communiquer avec Statistique Canada au numéro sans frais 1-800-263-1136. Les normes de service sont aussi publiées sur le site www.statcan.gc.ca sous « Contactez-nous » > « Normes de service à la clientèle ».

## Note de reconnaissance

Le succès du système statistique du Canada repose sur un partenariat bien établi entre Statistique Canada et la population du Canada, les entreprises, les administrations et les autres organismes. Sans cette collaboration et cette bonne volonté, il serait impossible de produire des statistiques exactes et actuelles.

## Signes conventionnels dans les tableaux

Les signes conventionnels suivants sont employés dans les publications de Statistique Canada :

| | |
|---|---|
| . | indisponible pour toute période de référence |
| .. | indisponible pour une période de référence précise |
| ... | n'ayant pas lieu de figurer |
| 0 | zéro absolu ou valeur arrondie à zéro |
| $0^s$ | valeur arrondie à 0 (zéro) là où il y a une distinction importante entre le zéro absolu et la valeur arrondie |
| $^p$ | provisoire |
| $^r$ | révisé |
| x | confidentiel en vertu des dispositions de la *Loi sur la statistique* |
| $^E$ | à utiliser avec prudence |
| F | trop peu fiable pour être publié |
| * | valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p<0,05$) |

Publication autorisée par le ministre responsable de Statistique Canada

© Ministre de l'Industrie, 2016

Tous droits réservés. L'utilisation de la présente publication est assujettie aux modalités de l'entente de licence ouverte de Statistique Canada.

**Une** version HTML **est aussi disponible.**

*This publication is also available in English.*

# Exposition aux émissions industrielles de polluants atmosphériques et fonction pulmonaire chez les enfants : Enquête canadienne sur les mesures de la santé, 2007 à 2011

*par Suzy L. Wong, Allan L. Coates et Teresa To*

## Résumé

**Contexte :** Les chercheurs ont observé une association entre l'exposition à long terme à la pollution de l'air ambiant et des effets néfastes pour la fonction pulmonaire chez les enfants. Toutefois, rares sont les études ayant porté sur la fonction pulmonaire par rapport aux émissions industrielles de polluants atmosphériques.

**Données et méthodes :** La présente étude transversale est fondée sur les données de spirométrie recueillies auprès de 2 833 enfants et jeunes de 6 à 18 ans ayant participé à l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé, de 2007 à 2011. La somme pondérée des émissions atmosphériques industrielles d'oxydes d'azote ($NO_x$) et de matières particulaires fines ($PM_{2,5}$) produites dans un rayon de 25 kilomètres de la résidence des participants a été calculée à partir des données de l'Inventaire national des rejets de polluants. On a procédé à une régression linéaire multivariée afin d'examiner la relation entre les émissions de $NO_x$ et de $PM_{2,5}$ et la capacité vitale forcée (CVF), le volume expiratoire maximal seconde (VEMS) et le ratio VEMS/CVF.

**Résultats :** Il n'y avait pas d'association significative entre les émissions atmosphériques industrielles de $NO_x$ et la fonction pulmonaire chez les garçons ou les filles. Chez les garçons, il existait une association négative entre les émissions de $PM_{2,5}$ et le VEMS ainsi que le ratio VEMS/CVF, mais pas avec la CVF. Les émissions de $PM_{2,5}$ n'étaient pas liées de façon significative à la fonction pulmonaire chez les filles.

**Interprétation :** Les associations dégagées entre la fonction pulmonaire et les émissions industrielles de $PM_{2,5}$ chez les garçons s'accordent avec l'obstruction des voies respiratoires. D'autres recherches s'imposent pour examiner plus à fond les différences observées selon le sexe.

**Mots-clés :** Pollution de l'air ambiant, matières particulaires, dioxyde d'azote, Inventaire national des rejets de polluants, pollution de l'air extérieur.

La fonction pulmonaire constitue une mesure objective de la santé respiratoire, de même qu'un prédicteur de la morbidité et de la mortalité associées à des causes cardiorespiratoires[1]. Certains chercheurs ont conclu à une association entre l'exposition à long terme à la pollution de l'air ambiant et des effets néfastes sur la fonction pulmonaire des enfants[2-4]. Les polluants en question comprennent entre autres le dioxyde d'azote ($NO_2$) et les matières particulaires fines (dont le diamètre est inférieur à 25 micromètres) ($PM_{2,5}$).

Les émissions de $NO_2$ et de $PM_{2,5}$ attribuables à l'activité humaine sont principalement produites par la combustion, notamment celle liée aux véhicules et aux procédés industriels. Plusieurs études ont examiné la fonction pulmonaire par rapport à l'exposition à long terme à ces polluants atmosphériques dans l'air ambiant ou aux émissions imputables à la circulation automobile, mais rares sont celles qui ont porté sur les émissions industrielles[2]. Parmi celles-ci, certaines ont fait état d'une diminution de la fonction pulmonaire chez les enfants vivant à proximité d'établissements industriels[5,6], mais d'autres n'ont rien observé de tel[7].

Le présent article se penche sur la relation entre l'exposition à long terme aux émissions atmosphériques industrielles d'oxydes d'azote ($NO_x$) et de $PM_{2,5}$ et la fonction pulmonaire chez un échantillon représentatif de la population canadienne d'enfants et de jeunes âgés de 6 à 18 ans. Les données utilisées proviennent de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé et de l'Inventaire national des rejets de polluants.

## Méthodes

### Enquête canadienne sur les mesures de la santé

L'Enquête canadienne sur les mesures de la santé (ECMS) est une enquête permanente qui a été conçue en vue d'obtenir des données nationales sur les mesures directes de la santé pour la population vivant dans les ménages privés. Le cycle 1, qui s'est déroulé de mars 2007 à la fin février 2009, a servi à recueillir des renseignements auprès des participants âgés de 6 à 79 ans. Le cycle 2, qui a eu lieu d'août 2009 à la fin novembre 2011, a permis de faire de même pour les participants âgés de 3 à 79 ans. Étaient exclus du champ de l'enquête les habitants des réserves des Premières Nations, d'autres établissements autochtones et de certaines régions éloignées, les personnes vivant en établissement, ainsi que les membres à temps plein des Forces canadiennes. L'échantillon représentait plus de 96 % de la population. L'ECMS a reçu l'approbation déontologique du Comité d'éthique de la recherche de Santé Canada.

L'ECMS comporte une interview au domicile du participant aux fins d'administration d'un questionnaire, suivie d'une visite à un centre d'examen mobile (CEM), où le participant subit des mesures de la condition physique (y compris des mesures spirométriques pour évaluer la fonction pulmonaire) et où on lui administre d'autres questionnaires. La participation est volontaire : un participant pouvait se retirer de l'enquête ou refuser de répondre à une question à n'importe quel moment. Les participants de 14 ans et plus fournissaient eux-mêmes leur consentement éclairé par écrit, tandis que chez les enfants plus

**Auteurs :** Suzy L. Wong (suzy.wong@canada.ca) travaille à la Division de l'analyse de la santé de Statistique Canada. Allan L. Coates travaille à l'Hospital for Sick Children et Teresa To, à l'Hospital for Sick Children et à l'Université de Toronto.

jeunes, c'est un parent ou le tuteur légal qui fournissait le consentement écrit, et l'enfant y joignait son assentiment écrit, si possible. Après correction pour tenir compte de la stratégie d'échantillonnage, le taux de réponse aux cycles 1 et 2 combinés a été de 53,5 %. Des précisions au sujet de l'enquête, y compris la stratégie d'échantillonnage, sont fournies à l'adresse http://www.statcan.gc.ca/ecms.

Les tests de spirométrie ont été effectués au moyen d'un spiromètre de type pneumotachographe, de Fleisch (KoKo[MC], nSpire, Longmont (Colorado), États-Unis), conformément aux procédures énoncées dans les lignes directrices conjointes révisées de l'American Thoracic Society et de l'European Respiratory Society[8]. Tous les techniciens du CEM avaient suivi la même formation, et on assurait une évaluation continue du contrôle de la qualité, manuellement et électroniquement. Seuls les spirogrammes satisfaisant aux normes internationales[8] pouvaient être utilisés lors des tests. Tous les tracés ont été examinés par un technicien en fonction pulmonaire qualifié, à qui revenait la décision finale d'accepter ou rejeter les tracés obtenus sur le terrain[9]. Les paramètres de la fonction pulmonaire examinés dans la présente étude sont les indices spirométriques conventionnels servant à détecter les déficiences de cette fonction[10], à savoir la capacité vitale forcée (CVF), qui mesure le volume expiratoire total faisant suite à une inspiration maximale, le volume expiratoire maximal seconde (VEMS), qui comme son nom l'indique mesure le volume maximal pouvant être expiré en une seconde, et le ratio de ces deux indices, soit le VEMS/CVF.

On ne soumettait pas aux tests de spirométrie les personnes ayant participé à l'enquête qui étaient âgées de moins de 6 ans ou de plus de 79 ans, étaient enceintes de 27 semaines ou plus, avaient fait une crise cardiaque ou subi une intervention chirurgicale importante à la poitrine ou à l'abdomen au cours des trois mois ayant précédé l'enquête, avaient subi une intervention chirurgicale aux yeux dans les six dernières semaines, avaient déclaré prendre des médicaments contre la tuberculose, ou avaient une infection aiguë des voies respiratoires (comme le rhume ou la grippe). En outre, on excluait les participants qui avaient un autre problème de santé en raison duquel les tests de spirométrie pouvaient s'avérer dangereux[8] ou produire des résultats non fiables ou non représentatifs de la fonction pulmonaire habituelle.

On a subdivisé les participants en deux catégories d'origine culturelle ou raciale, selon qu'ils avaient déclaré être de « race blanche » ou de « race non blanche », et en trois catégories de niveau de scolarité (pas de diplôme d'études secondaires, diplôme d'études secondaires ou études postsecondaires partielles, diplôme d'études postsecondaires), selon le plus haut niveau de scolarité atteint par un membre du ménage. Le revenu total du ménage, ajusté pour tenir compte de la taille du ménage, a été défini en fonction de trois catégories (faible, moyen, élevé). Les participants étaient réputés avoir un problème ou symptôme respiratoire s'ils avaient répondu « oui » à au moins une question parmi celles portant sur les problèmes de santé chroniques diagnostiqués, la respiration sifflante, la toux, les sécrétions ou l'essoufflement (tableau explicatif 1). Les personnes ayant répondu « non » à chacune de ces questions ont été classées comme n'ayant pas de problème/symptôme respiratoire.

Les participants étaient réputés être exposés à la fumée secondaire « régulièrement » s'ils avaient indiqué y être exposés à la maison (à l'intérieur du logement) chaque jour ou presque. Afin de déterminer l'usage du tabac maternel, on a demandé à la mère de chaque participant de moins de 12 ans si elle avait fumé pendant qu'elle était enceinte du participant. Les participants étaient réputés avoir des « antécédents d'usage du tabac » si au moins l'une des conditions suivantes s'appliquait : le participant a déclaré avoir fumé une centaine de cigarettes ou plus au cours de sa vie; le participant a déclaré fumer à l'heure actuelle, soit tous les jours ou à l'occasion; le participant affichait une concentration de cotinine supérieure à 50 ng/mL[11]. La cotinine libre a été mesurée à partir d'un échantillon d'urine prélevé en milieu de jet au CEM et envoyé au laboratoire d'analyse de l'Institut national de santé publique du Québec (accrédité sous ISO 17025).

L'âge a été déterminé en calculant la différence entre la date de naissance autodéclarée et la date de l'examen en clinique. La taille en position debout a été mesurée au dixième de centimètre près au moyen d'un stadiomètre numérique ProScale M150 (Accurate Technology Inc., Fletcher, États-Unis). Le poids a été mesuré au centième de kilogramme près au moyen d'une balance numérique Mettler Toledo. Les participants ont été classés comme étant obèses ou non, d'après les critères de l'Organisation mondiale de la Santé fondés sur l'âge, le sexe et l'indice de masse corporelle (kg/m$^2$)[12].

La température ambiante à l'heure de la collecte des données a été obtenue des Archives nationales d'information et de données climatologiques d'Environnement Canada (http://climat.meteo.gc.ca/). Les concentrations de $NO_2$ et de $PM_{2,5}$ à l'heure de la collecte des données ont été obtenues de la station de surveillance de l'air du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (http://www.ec.gc.ca/rnspa-naps/default.asp?lang=Fr&n=5C0D33CF-1) la plus proche du CEM qui enregistrait des mesures toutes les heures.

## Inventaire national des rejets de polluants

L'Inventaire national des rejets de polluants (INRP) contient des données sur les émissions industrielles de polluants atmosphériques. L'INRP constitue « l'inventaire légiféré du Canada, accessible au public, des polluants rejetés (dans l'atmosphère, dans l'eau et dans le sol), éliminés et recyclés ». On y compile l'information déclarée par les usines ou installations industrielles et publiée par Environnement Canada en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)*. En 2011, plus de 8 000 établissements industriels ont

fait une déclaration auprès de l'INRP sur au-delà de 300 substances répertoriées, dont les $NO_x$ et les $PM_{2,5}$. Les $NO_x$ comprennent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote ($NO_2$). L'oxyde de diazote ($N_2O$) n'a pas été pris en compte dans le calcul des émissions de $NO_x$. Étant donné que les $NO_x$ regroupent le NO et le $NO_2$, ces deux substances ont été exprimées sous forme d'équivalent $NO_2$ avant de combiner leurs quantités pour obtenir la valeur totale à déclarer d'émissions de $NO_x$[13]. Les établissements doivent déclarer les émissions de ces substances si elles excèdent les seuils de déclaration établis, soit de 20 tonnes pour les $NO_x$ et de 0,3 tonne pour les $PM_{2,5}$. De plus amples renseignements à ce sujet sont fournis à l'adresse http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=Fr&n=4A577BB9-1.

Pour déterminer le type d'établissement industriel, on s'est référé aux codes du Système de classification des industries de l'Amérique du Nord dans l'INRP. Parmi les 5 763 établissements tenus de déclarer leurs émissions de $PM_{2,5}$ qui ont été pris en compte dans la présente étude (ceux situés dans un rayon de 25 kilomètres de la résidence du participant à l'ECMS), 62 % appartenaient au secteur de la fabrication, 19 %, au secteur de l'agriculture, de la foresterie, de la chasse et de la pêche, et 5 %, au secteur des services publics. Le sous-secteur de l'extraction de pétrole et de gaz comptait le plus grand nombre d'établissements (n = 698), suivi de ceux de l'extraction de minerais non métalliques (n = 375), la fabrication de ciment et de produits en béton (n = 346), la fabrication de produits du pétrole et du charbon (n = 281) et la production, le transport et la distribution d'électricité (n = 169). Des 3 776 établissements tenus de déclarer leurs émissions de $NO_x$ qui ont été pris en compte dans la présente étude, 57 % appartenaient au secteur de l'extraction minière, de l'exploitation en carrière et de l'extraction de pétrole et de gaz, 35 % faisaient partie du secteur de la fabrication et 2 % provenaient du secteur du transport et de l'entreposage. Parmi ces établissements-ci, les plus nombreux étaient ceux de l'extraction du pétrole et du gaz (n = 1,802), de la production, du transport et de la distribution d'électricité (n = 188), de la fabrication de produits chimiques de base (n = 144), ainsi que les usines de pâte à papier, de papier et de carton (n = 140) et les réseaux d'aqueduc et d'égout et autres (n = 84).

On a obtenu de la base de données de l'INRP les valeurs annuelles totales se rapportant aux émissions atmosphériques de $NO_x$ et de $PM_{2,5}$, pour chaque établissement et pour chaque année de la période de référence, en commençant par 2007 et en finissant par 2011, de même que les coordonnées géographiques des établissements. Pour chaque polluant et chaque site industriel situé dans un rayon de 25 kilomètres du domicile du participant, on a calculé l'exposition annuelle aux émissions. Les coordonnées géographiques des lieux de résidence ont été établies à partir du code postal à six caractères et du logiciel FCCP+[14]. Pour chaque participant, on a pondéré les valeurs des émissions provenant des sites industriels se trouvant dans un rayon déterminé [coefficient de pondération = $\exp(-0,5*(d/25)^2)$, où d correspond à la distance entre le domicile du participant et le site industriel][15], puis on en a fait la somme. On a imputé au participant les valeurs des expositions annuelles ainsi calculées pour l'année civile au cours de laquelle il avait participé à la composante du CEM de l'ECMS. Les émissions étaient fortement corrélées d'une année à l'autre (tableau 1).

**Tableau explicatif 1**
**Questions de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé portant sur la fonction respiratoire et servant à définir les « problèmes ou symptômes respiratoires »**

| Question | Fourchette d'âge |
|---|---|
| Par « problème de santé de longue durée », on entend un état qui a duré ou qui devrait durer 6 mois ou plus et qui a été diagnostiqué par un professionnel de la santé. | |
| Faites-vous de l'asthme? (oui/non) | 6 à 18 ans |
| Êtes-vous atteint de bronchite chronique? (oui/non) | 6 à 18 ans |
| Votre enfant a-t-il eu une respiration sifflante au cours des 12 derniers mois? (oui/non) | 6 à 12 ans |
| Au cours des 12 derniers mois, votre enfant a-t-il eu une toux sèche la nuit, mis à part les fois où une grippe ou une infection bronchique en était la cause? (oui/non) | 6 à 12 ans |
| Toussez-vous régulièrement? (oui/non) | 13 à 18 ans |
| Crachez-vous des sécrétions régulièrement? (oui/non) | 13 à 18 ans |
| Au cours de l'année dernière [...], avez-vous eu une toux qui vous a fait cracher des sécrétions et qui a duré 3 mois ou plus? (oui/non) | 6 à 18 ans |
| Êtes-vous essoufflé lorsque vous faites des tâches simples? (oui/non) | 6 à 18 ans |

## Analyse statistique

Les participants ont été exclus de l'analyse s'ils avaient moins de 6 ans ou plus de 18 ans ou si la qualité de leurs mesures spirométriques n'était pas adéquate. Les équations de référence ayant trait à la fonction pulmonaire diffèrent selon le groupe ethnique, mais en raison de la trop petite taille des échantillons, l'analyse selon l'ethnicité n'a été réalisée que pour les participants de race blanche. Pour cette raison, les participants de race non blanche ont été exclus de l'étude. Ainsi, l'échantillon final comptait 2 833 participants, dont 1 429 garçons (50,4 %) et 1 404 filles (49,6 %).

La plupart des 2 833 participants (2 691, ou 95 %) avaient été exposés à des émissions de $NO_x$ ainsi que de $PM_{2,5}$ dans un rayon de 25 kilomètres de leur résidence. Un total de 60 participants avaient été exposés uniquement à des émissions de $PM_{2,5}$ et 82 n'avaient été exposés ni aux $NO_x$ ni aux $PM_{2,5}$, dans un rayon de 25 kilomètres.

On a calculé des statistiques descriptives pour les participants des deux sexes dans leur ensemble, puis selon le sexe. Des régressions linéaires univariées ont servi à repérer les associations significatives entre les paramètres de la fonction pulmonaire et les émissions atmosphériques industrielles de $PM_{2,5}$ et de $NO_x$. Les paramètres de la fonction pulmonaire ont été modélisés sous forme de valeurs en pourcentage prédites, en se fondant sur les équations de prédiction de la Global Lung Initiative[10]. On a mené des analyses distinctes pour les garçons et pour les filles.

Dans le cas des paramètres de la fonction pulmonaire présentant une association significative avec les émissions atmosphériques industrielles ($p < 0,05$), on a procédé à des régressions linéaires multivariées afin de tenir compte des facteurs confusionnels possibles. Pour chaque paramètre de la fonction pulmonaire, il y avait cinq modèles emboîtés. Le premier modèle était non ajusté; le deuxième tenait compte des problèmes et symptômes respiratoires; le troisième incorporait le revenu du ménage, et les quatrième et cinquième modèles introduisaient respectivement l'exposition aux $PM_{2,5}$ à court terme et l'âge.

D'autres facteurs confusionnels possibles étaient le niveau de scolarité, l'exposition régulière à la fumée secondaire à la maison, l'usage du tabac maternel (c.-à-d. par la mère du participant alors qu'elle le portait), la taille et l'obésité. Toutefois, étant donné que les régressions linéaires univariées n'ont montré aucune association entre les paramètres de la fonction pulmonaire et ces facteurs au seuil de 0,10, ceux-ci n'ont pas été incorporés aux modèles ajustés. Les régressions linéaires univariées qui incorporaient les paramètres de la fonction pulmonaire ont montré que les problèmes/symptômes respiratoires affichaient la valeur *p* la plus faible, suivis du revenu du ménage, de l'exposition aux $PM_{2,5}$ à court terme, et de l'âge. Ces variables ont été incorporées aux modèles emboîtés en fonction de ces résultats.

Toutes les estimations sont fondées sur des données pondérées. On a utilisé les poids de sondage qui s'appliquaient pour le regroupement des cycles 1 et 2. Les analyses statistiques ont été exécutées en SAS et SUDAAN. On a calculé les erreurs types, les coefficients de variation et les intervalles de confiance à 95 % au moyen de la technique du *bootstrap*[16,17]. Le nombre de degrés de liberté a été fixé à 24 afin de tenir compte du plan de sondage de l'ECMS[18].

## Résultats

Le tableau 2 montre les valeurs en pourcentage moyennes prédites des paramètres de la fonction pulmonaire et les émissions atmosphériques industrielles moyennes, pour les participants des deux sexes globalement et par sexe.

Le tableau 3 présente les résultats des modèles de régression non ajusté et ajustés ayant servi à examiner l'association entre les émissions atmosphériques industrielles et les paramètres de la fonction pulmonaire. Aucune association significative n'est ressortie entre les émissions de $NO_x$ et la fonction pulmonaire, ni chez les garçons, ni chez les filles. Par contre, chez les garçons, les émissions de $PM_{2,5}$ présentaient une association significative avec le VEMS et le ratio VEMS/CVF, même si elles n'en présentaient pas avec la CVF. Chez les filles, on n'observait pas d'association entre les émissions atmosphériques industrielles de $PM_{2,5}$ et la fonction pulmonaire.

L'association entre les émissions atmosphériques industrielles de $PM_{2,5}$ et le VEMS ainsi que le ratio VEMS/CVF chez les garçons demeurait significative après que l'on ait corrigé les données des problèmes et symptômes respiratoires, du revenu du ménage, des niveaux d'exposition à court terme aux $PM_{2,5}$ et de l'âge. Une augmentation de 190 tonnes des émissions atmosphériques industrielles dans un rayon de 25 kilomètres de la résidence était associée à une réduction de 1 % de la valeur en pourcentage prédite du VEMS et une augmentation de 370 tonnes, à une réduction de 1 % de la valeur en pourcentage prédite du ratio VEMS/CVF.

## Discussion

L'association entre l'exposition aux émissions atmosphériques industrielles de $NO_x$ et de $PM_{2,5}$ et la fonction pulmonaire a été examinée auprès d'un échantillon représentatif de la population canadienne d'enfants et de jeunes de 6 à 18 ans, en utilisant les données de l'INRP et de l'ECMS. L'association négative significative observée chez les garçons entre les émissions de $PM_{2,5}$ et le VEMS ainsi que le ratio VEMS/CVF donne à penser que ces émissions sont liées à l'obstruction des voies respiratoires chez ces derniers.

Ces conclusions concordent avec les résultats de recherches antérieures. Par exemple, selon une étude menée en Argentine, les enfants âgés de 6 à 12 ans vivant à proximité d'usines pétrochimiques avaient une moins bonne fonction pulmonaire (valeur en pourcentage prédite du VEMS de 13 % inférieure) que les enfants habitant deux régions relativement exemptes de pollution[5]. Les niveaux de matières par-

**Tableau 1**
**Matrice de corrélation des émissions d'une année à l'autre, somme des émissions atmosphériques industrielles d'oxydes d'azote et de matières particulaires fines dans un rayon de 25 kilomètres de la résidence des participants à l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé (2007 à 2011) âgés de 6 à 18 ans**

| Émissions atmosphériques industrielles / année | Année | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| **Oxydes d'azote** | | | | | |
| 2007 | ... | 0,99 | 0,94 | 0,95 | 0,90 |
| 2008 | 0,99 | ... | 0,96 | 0,97 | 0,91 |
| 2009 | 0,94 | 0,96 | ... | 0,99 | 0,97 |
| 2010 | 0,95 | 0,97 | 0,99 | ... | 0,97 |
| 2011 | 0,90 | 0,91 | 0,97 | 0,97 | ... |
| **Matières particulaires fines** | | | | | |
| 2007 | ... | 0,92 | 0,88 | 0,87 | 0,79 |
| 2008 | 0,92 | ... | 0,95 | 0,93 | 0,84 |
| 2009 | 0,88 | 0,95 | ... | 0,96 | 0,81 |
| 2010 | 0,87 | 0,93 | 0,96 | ... | 0,83 |
| 2011 | 0,79 | 0,84 | 0,81 | 0,83 | ... |

... n'ayant pas lieu de figurer
$p < 0,0001$ pour toutes les corrélations
**Sources :** Inventaire national des rejets de polluants; Enquête canadienne sur les mesures de la santé, données pour 2007 à 2009 et 2009 à 2011 combinées.

**Tableau 2**
**Valeur en pourcentage moyenne prédite des paramètres de la fonction pulmonaire et émissions atmosphériques industrielles moyennes dans un rayon de 25 kilomètres de la résidence, selon le sexe, population à domicile de 6 à 18 ans, 2007 à 2011**

| | Total | | | Garçons | | | Filles | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Intervalle de confiance à 95 % | | | Intervalle de confiance à 95 % | | | Intervalle de confiance à 95 % | |
| | Moyenne | de | à | Moyenne | de | à | Moyenne | de | à |
| **Valeur en pourcentage prédite des paramètres de la fonction pulmonaire†** | | | | | | | | | |
| CVF | 103,07 | 102,27 | 103,87 | 103,21 | 102,30 | 104,12 | 102,93 | 101,92 | 103,93 |
| VEMS | 98,86 | 98,07 | 99,64 | 98,63 | 97,70 | 99,56 | 99,09 | 98,00 | 100,18 |
| VEMS/CVF | 95,47 | 94,97 | 95,97 | 95,13 | 94,39 | 95,87 | 95,81 | 95,17 | 96,45 |
| **Émissions atmosphériques industrielles** | | | | | | | | | |
| $NO_x$ (tonnes) | 2 372,34[E] | 1 547,02 | 3 197,66 | 2 431,43[E] | 1 589,65 | 3 273,22 | 2 312,64[E] | 1 487,75 | 3 137,53 |
| $PM_{2,5}$ (tonnes) | 250,27 | 169,08 | 331,46 | 250,62 | 169,08 | 331,46 | 249,92 | 166,30 | 333,54 |

[E] à interpréter avec prudence
† à partir des équations de référence de la Global Lung Initiative
CVF = capacité vitale forcée
VEMS = volume expiratoire maximal seconde
$NO_x$ = oxydes d'azote
$PM_{2,5}$ = matières particulaires fines
**Source :** Enquête canadienne sur les mesures de la santé, données pour 2007 à 2009 et 2009 à 2011 combinées.

**Tableau 3**
**Coefficients de régression reliant la valeur en pourcentage prédite des paramètres de la fonction pulmonaire et les émissions atmosphériques industrielles produites dans un rayon de 25 kilomètres de la résidence, selon le sexe, population à domicile de 6 à 18 ans, 2007 à 2011**

| | CVF | | | | VEMS | | | | VEMS/ CVF | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Intervalle de confiance à 95 % | | | | Intervalle de confiance à 95 % | | | | Intervalle de confiance à 95 % | | |
| Émissions atmosphériques industrielles / sexe | bêta | de | à | valeur p | bêta | de | à | valeur p | bêta | de | à | valeur p |
| **$PM_{2,5}$** | | | | | | | | | | | | |
| **Garçons** | | | | | | | | | | | | |
| Modèle 1 | -0,003 | -0,007 | 0,001 | 0,133 | -0,006 | -0,010 | -0,002 | 0,005* | -0,003 | -0,005 | 0,000 | 0,021* |
| Modèle 2 | ... | ... | ... | ... | -0,005 | -0,009 | -0,002 | 0,004* | -0,003 | -0,005 | -0,001 | 0,017* |
| Modèle 3 | ... | ... | ... | ... | -0,005 | -0,009 | -0,001 | 0,008* | -0,003 | -0,005 | 0,000 | 0,025* |
| Modèle 4 | ... | ... | ... | ... | -0,005 | -0,009 | -0,001 | 0,009* | -0,003 | -0,005 | 0,000 | 0,028* |
| Modèle 5 | ... | ... | ... | ... | -0,005 | -0,009 | -0,001 | 0,010* | -0,003 | -0,005 | 0,000 | 0,025* |
| **Filles** | | | | | | | | | | | | |
| Modèle 1 | -0,002 | -0,005 | 0,001 | 0,157 | -0,003 | -0,006 | 0,000 | 0,060 | -0,001 | -0,004 | 0,002 | 0,546 |
| **$NO_x$** | | | | | | | | | | | | |
| **Garçons** | | | | | | | | | | | | |
| Modèle 1 | 0,000 | -0,001 | 0,000 | 0,307 | 0,000 | -0,001 | 0,000 | 0,101 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,155 |
| **Filles** | | | | | | | | | | | | |
| Modèle 1 | 0,000 | -0,001 | 0,000 | 0,646 | 0,000 | -0,001 | 0,000 | 0,080 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,099 |

... n'ayant pas lieu de figurer
* signification statistique établie au seuil de $p < 0,05$
CVF = capacité vitale forcée
VEMS = volume expiratoire maximal seconde
$PM_{2,5}$ = matières particulaires fines
$NO_x$ = oxydes d'azote
Modèle 1 = non ajusté; modèle 2 = modèle 1 + problèmes/symptômes respiratoires; modèle 3 = modèle 2 + revenu du ménage; modèle 4 = modèle 3 + exposition à court terme aux $PM_{2,5}$; modèle 5 = modèle 4 + âge
**Source:** Enquête canadienne sur les mesures de la santé, données pour 2007 à 2009 et 2009 à 2011 combinées.

ticulaires, dont les $PM_{2,5}$, étaient plus élevés à proximité des usines pétrochimiques que dans d'autres secteurs de la ville[19]. En Espagne, une analyse qui a comparé la fonction pulmonaire chez des enfants de 6 à 14 ans vivant dans une municipalité située à proximité d'une grande installation de raffinage du pétrole et de gazéification et des enfants d'une municipalité rurale voisine a montré que les enfants vivant près de l'usine avaient une moins bonne fonction pulmonaire (VEMS de 10,3 % inférieur)[6].

Cependant, toutes les recherches n'ont pas dégagé des associations significatives. Une étude d'enfants de 13 et 14 ans en Espagne n'a pas trouvé d'écarts de fonction pulmonaire entre trois sous-groupes d'enfants, à savoir vivant non loin d'usines pétrochimiques, vivant dans une ville à circulation automobile modérée, et habitant une région sans industrie et à faible circulation automobile.

Ces résultats divergents sont peut-être attribuables à des différences quant aux caractéristiques des unités pétrochimiques, comme la direction et la vitesse du vent, l'humidité, les précipitations, la qualité du pétrole brut, les technologies de production, l'équipement de contrôle de la pollution ainsi que la présence, à proximité, d'autres activités industrielles et d'autres sources de pollution. De plus, la composition des $PM_{2,5}$ peut varier de façon considérable selon leur origine et leur degré de toxicité peut également dépendre de leur source[20].

L'un des points forts de la présente étude tient au fait que les émissions atmosphériques industrielles ont été imputées au niveau individuel plutôt qu'au niveau de la collectivité ou de la municipalité, en fonction de la proximité d'une usine pétrochimique.

Il n'est pas certain que l'association entre la pollution atmosphérique et la fonction pulmonaire des enfants diffère selon le sexe. Dans la présente étude, on observe une association significative chez les garçons, mais non chez les filles, ce qui concorde avec plusieurs autres études[3,21-24]. Par contre, certaines recherches ont signalé des associations plus marquées chez les filles que chez les

## *Ce que l'on sait déjà sur le sujet*

- On a établi une association entre l'exposition à long terme à la pollution de l'air ambiant, notamment les matières particulaires fines et le dioxyde d'azote, et des effets néfastes pour la fonction pulmonaire des enfants.
- Les études ayant porté sur la fonction pulmonaire par rapport aux émissions industrielles de polluants atmosphériques sont peu nombreuses.

## *Ce qu'apporte l'étude*

- Les données concernant les émissions atmosphériques industrielles proviennent de l'Inventaire national des rejets de polluants, qui est l'inventaire légiféré du Canada, accessible au public, des polluants rejetés.
- Chez les enfants et les jeunes de 6 à 18 ans de sexe masculin, on observe une association significative entre les émissions atmosphériques industrielles de matières particulaires fines et la fonction pulmonaire; chez les filles, aucune association n'est apparente.

garçons[25-27] ou n'ont pas du tout révélé de différences selon le sexe[4,28,29].

Les écarts selon le sexe en ce qui a trait aux effets sur la santé de l'exposition aux matières particulaires peuvent dépendre de différences anatomiques et de la dynamique de ventilation, lesquelles déterminent peut-être la façon dont les particules se déposent dans les voies respiratoires des garçons et des filles, et il se peut que cet effet dépende à son tour de la taille des particules[30]. En outre, une activité physique même modérée peut donner lieu à un taux global de dépôt dans les poumons de trois à cinq fois plus élevé que celui obtenu au repos, en raison d'une plus forte ventilation minute et d'une prévalence de la respiration par la bouche plus élevée[31,32]. La respiration par la bouche ne permet pas le même filtrage des particules que la respiration par le nez. Si l'on se fie aux données pour 2007 à 2009 pour le Canada, les garçons sont plus actifs physiquement que les filles[33], fait que certains associent au temps passé à l'extérieur[34,35]. Des variations en matière de temps passé à l'extérieur et l'exposition aux polluants atmosphériques en résultant peuvent avoir eu une incidence sur les différences selon le sexe observées dans la présente étude comme dans les autres.

Aucune association significative ne ressort de la présente étude entre les émissions industrielles de $NO_x$ et la fonction pulmonaire. Bien que les études aient pour la plupart examiné le $NO_2$ par rapport à la santé respiratoire[2], certaines ont montré une association significative entre les $NO_x$ et la fonction pulmonaire[4,36]. Or, celles-ci portent sur les émissions de $NO_x$ attribuables à la circulation plutôt qu'à l'industrie. Dans les études où l'on mesure les polluants atmosphériques associés à la circulation en fonction de la proximité du lieu de résidence aux autoroutes et aux routes importantes, les seuils établis pour décrire les personnes les plus exposées varient de 50 à 200 m[37,38]. Dans la présente analyse, on considère que les installations situées à une distance nettement plus grande (25 kilomètres) sont des sources pertinentes d'émissions industrielles de $NO_x$. Un rayon moins étendu pourrait donner des résultats différents.

## Limites

La présente analyse comporte certaines limites. D'abord, les concentrations d'émissions atmosphériques industrielles n'ont pas été mesurées. Les données de l'INRP, utilisées en remplacement de mesures directes de l'exposition aux émissions industrielles, rendent compte uniquement des émissions provenant d'établissements déclarants (tenus de faire un rapport) aux fins de l'INRP. Les établissements déclarants sont ceux qui ont fabriqué, traité ou utilisé au moins l'une des substances répertoriées dans l'INRP au cours de l'année et où le nombre global d'heures travaillées se rapportant aux employés dépassait le seuil prescrit de 20 000 heures (soit l'équivalent d'environ dix employés à temps plein). Il y avait cependant des exceptions à la règle (http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=Fr&n=4A577BB9-1). Parmi les établissements tenus de faire un rapport aux fins de l'INRP, ceux dont les niveaux des émissions n'atteignaient pas les seuils de déclaration n'ont pas été pris en compte dans le calcul des variables relatives aux émissions atmosphériques industrielles. Ainsi, ces émissions sont sous-estimées dans la mesure où les établissements polluant en deçà des seuils de déclaration étaient situés à proximité du lieu de résidence du participant.

L'exposition à long terme à des émissions atmosphériques industrielles fondée sur les données de l'INRP constitue une variable qui n'a pas été validée. En théorie, des appareils de mesure installés à la source des émissions pourraient être utilisés pour valider les quantités d'émissions déclarées par chaque établissement, mais cela ne permettrait pas de valider l'exposition des participants à ces substances. Bien que des appareils de mesure individuels permettraient de mesurer les niveaux d'exposition, ils n'ont pas la capacité de distinguer entre les émissions industrielles et d'autres sources de pollution atmosphérique.

Les effets directionnels de la pollution atmosphérique attribuables aux conditions météorologiques et au climat n'ont pas été pris en compte, pas plus que l'effet de la hauteur des cheminées ou les profils temporels des émissions. Par ailleurs, on ne savait pas pendant combien de temps les participants avaient vécu au lieu de résidence déclaré ni où étaient situés les établissements scolaires qu'ils fréquentaient.

Il n'a pas été possible d'examiner l'effet intégral des émissions industrielles, car, dans le cas de certains établissements déclarants, il n'y avait peut-être aucun participant à l'ECMS qui résidait à proximité. Les répartitions des établissements ayant déclaré des émissions de $NO_x$ et de $PM_{2,5}$, des émissions de $NO_x$ seulement, et des émissions de $PM_{2,5}$ seulement[13] étaient à peu près similaires. En revanche, dans la majorité des cas, les participants vivaient à 25 kilomètres ou moins d'un établissement ayant

déclaré des émissions de $NO_x$ et de $PM_{2,5}$; aucun participant n'habitait à proximité d'un établissement ayant déclaré des émissions de $NO_x$ uniquement. Seules les régions comptant au moins 10 000 habitants et où la distance maximale que devait parcourir le participant n'excédait pas 50 km dans les régions urbaines et 100 km dans les régions rurales ont été prises en considération comme emplacements de collecte éventuels pour l'ECMS[9]. La répartition des types d'établissements déclarants aurait peutêtre été différente si l'enquête avait tenu compte des participants résidant dans des régions ayant une densité de population plus faible. Il se peut également que certains établissements déclarants soient situés à plus de 25 kilomètres de zones résidentielles. La détermination de l'emplacement des établissements déclarants par rapport aux zones résidentielles et aux densités de population débordait la portée de la présente étude.

## Mot de la fin

Les données de l'INRP ont déjà été utilisées par le passé pour étudier des enjeux environnementaux, par exemple les émissions polluantes en fonction de la situation socioéconomique et des caractéristiques socioculturelles de la population[39,40]. La présente étude est la première où ces données servent à examiner la relation entre la pollution atmosphérique industrielle et des paramètres de mesure de la fonction pulmonaire.

Une association significative entre les émissions industrielles de polluants atmosphériques et la fonction pulmonaire ressort de la présente étude. Plus précisément, on observe une association négative entre les émissions de $PM_{2,5}$ et le VEMS ainsi que le ratio VEMS/CVF chez les garçons, mais pas chez les filles. Entre les émissions de $NO_x$ et la fonction pulmonaire, aucune association n'était apparente. D'autres analyses s'imposent par rapport aux différences selon le sexe observées ici. ■

# Références

1. D.D. Sin, L. Wu et S.F. Man, « The relationship between reduced lung function and cardiovascular mortality: a population-based study and a systematic review of the literature », *Chest*, 127, 2005, p. 1952-1959.
2. T. Gotschi, J. Heinrich, J. Sunyer et N. Kunzli, « Long-term effects of ambient air pollution on lung function », *Epidemiology*, 19, 2008, p. 690-701.
3. Y. Gao, E.V.Y. Chan, L.P. Li *et al.*, « Chronic effects of ambient air pollution on lung function among Chinese children », *Archives of Diseases in Childhood*, 98, 2013, p. 128-135.
4. U. Gehring, O. Bruzieva, R.M. Agius *et al.*, « Air pollution exposure and lung function in children: the ESCAPE project », *Environmental Health Perspectives*, 121, 2013, p. 1357-1364.
5. F.A. Wichmann, A. Muller, L.E. Busi *et al.*, « Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution », *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 123, 2009, p. 632-638.
6. F. Rusconi, D. Catelan, G. Accetta *et al.*, « Asthma symptoms, lung function, and markers of oxidative stress and inflammation in children exposed to oil refinery pollution », *Journal of Asthma*, 48, 2011, p. 84-90.
7. E. Rovira, A. Caudras, X. Aguilar *et al.*, « Asthma, respiratory symptoms and lung function in children living near a petrochemical site », *Environmental Research*, 133, 2014, p. 156-163.
8. M.R. Miller, J.L. Hankinson, V. Brusasco *et al.*, « Standarisation of spirometry », *European Respiratory Journal*, 26, 2005, p. 319-338.
9. Statistique Canada, *Guide de l'utilisateur des données de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé (ECMS) : Cycle 2*, Ottawa, Statistique Canada, 2013.
10. P.H. Quanjer, S. Stanojevic, T.J. Cole *et al.*, « Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations », *European Respiratory Journal*, 40, 2012, p. 1324-1343.
11. Society for Research on Nicotine and Tobacco Subcommittee on Biochemical Verification, Biochemical verification of tobacco use and cessation, *Nicotine and Tobacco Research*, 4, 2002, p. 149-159.
12. Groupe d'étude multicentrique de l'OMS sur la référence de croissance, *WHO Child Growth Standards: Length/Height-for-age, Weight-for-age, Weight-for-length, Weight-for-height and Body Mass Index-for-age: Methods and Development*, Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2006.
13. L'Inventaire national des rejets de polluants, *Guide de déclaration à l'Inventaire national des rejets de polluants : Déclaration des substances de la partie 4 – Principaux contaminants atmosphériques*, disponible à l'adresse http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=Fr&n=1FAA2366-1
14. R. Wilkins et P.A. Peters, « Guide de l'utilisateur, Fichier de conversion des codes postaux ᴹᴰ plus (FCCP+) version 5K », Ottawa, Statistique Canada, 2012.
15. A.S. Fotheringham, C. Brunsdon et M. Charlton, *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. West Sussex, England, John Wiley and Sons Ltd, 2002, p. 210-211.
16. J.N.K. Rao, C.F.J. Wu et K. Yue, « Quelques travaux récents sur les méthodes de rééchantillonnage applicables aux enquêtes complexes », *Techniques d'enquête*, 18(2), 1992, p. 225-234 (Statistique Canada, nº 12-001 au catalogue).
17. K.F. Rust et J.N.K. Rao, « Variance estimation for complex surveys using replication techniques », *Statistical Methods in Medical Research*, 5(3), 1996, p. 281-310.
18. Statistique Canada, *Instructions pour la combinaison des données des cycles 1 et 2 de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé (ECMS)*, Ottawa, Statistique Canada, 2013.
19. L. Massolo, A. Mueller, M. Tueros *et al.*, « Assessment of mutagenicity and toxicity of different size fractions of air particulates from La Plata, Argentina, and Leipzig (Germany) », *Environmental Toxicology*, 17, 2002, p. 219-231.
20. F. Laden, L.M. Neas, D.W. Dockery et J. Schwartz, « Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities », *Environmental Health Perspectives*, 108, 2000, p. 941-947.

21. B.F. Hwang, Y.H. Chen, Y.T. Lin *et al.*, « Relationship between exposure to fine particulates and ozone and reduced lung function in children », *Environmental Research*, 137C, 2015, p. 382-390.

22. W. Jedrychowski, E. Flak et E. Mroz, « The adverse effect of low levels of ambient air pollutants on lung function growth in preadolescent children », *Environmental Health Perspectives*, 107, 1999, p. 669-674.

23. B. Brunekreef, N.A. Janssen, J. de Hartog *et al.*, « Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways », *Epidemiology*, 8, 1997, p. 298-303.

24. E. Schultz, O. Gruzieva, T. Bellander *et al.*, « Traffic-related air pollution and lung function in children at 8 years of age – a birth cohort study », *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 186, 2012, p. 1286-1291.

25. C. Frye, B. Hoelscher, J. Cyrys *et al.*, « Association of lung function with declining ambient air pollution », *Environmental Health Perspectives*, 111, 2003, p. 383-387.

26. B. Oftedal, B. Brunkekreef, W. Nystad *et al.*, « Residential outdoor air pollution and lung function in schoolchildren », *Epidemiology*, 19, 2008, p. 401-408.

27. J.M. Peters, E. Avol, W.J. Gauderman *et al.*, « A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution. II. Effects on pulmonary function », *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 159, 1999, p. 768-775.

28. M. Raizenne, L.M. Neas, A.I. Damokosh *et al.*, « Health effects of acid aerosols on North American children: pulmonary function », *Environmental Health Perspectives*, 104, 1996, p. 506-514.

29. W.J. Gauderman, E. Avol, F. Gilliland *et al.*, « The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age », *New England Journal of Medicine*, 351, 2004, p. 1057-1067.

30. Santé Canada, Évaluation scientifique canadienne du smog. Volume 2 : *Effets sur la santé*. Ottawa, Santé Canada, 2013.

31. C.C. Daigle D.C. Chalupa, F.R. Gibb *et al.*, « Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise », *Inhalation Toxicology*, 15, 2003, p. 539-552.

32. D.C. Chalupa, P.E. Morrow, G. Oberdorster *et al.*, « Ultrafine particle deposition in subjects with asthma », *Environmental Health Perspectives*, 112, 2004, p. 879-882.

33. R.C. Colley, D. Garriguet, I. Janssen *et al.*, « Activité physique des enfants et des jeunes au Canada : résultats d'accélérométrie de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé de 2007-2009 », *Rapport sue la santé*, 22, 2011, p. 1-9.

34. L. Schaefer, R.C. Plotnikoff, S.R. Majumdar *et al.*, « Outdoor time is associated with physical activity, sedentary time, and cardiorespiratory fitness in youth », *Journal of Pediatrics*, 165, 2014, p. 516-521.

35. M.R. Stone et F.E.J. Faulkner, « Outdoor play in children: associations with objectively-measured physical activity, sedentary behavior and weight status », *Preventive Medicine*, 65, 2014, p. 122-127.

36. R. Urman, R. McConnell, T. Islam *et al.*, « Associations of children's lung function with ambient air pollution: joint effects of regional and near-roadway pollutants », Thorax, 69, 2014, p. 540-547.

37. S. Riley, J. Wallace et P. Nair, « Proximity to major roadways is a risk factor for airway hyper-responsiveness in adults », *Canadian Respiratory Journal*, 19, 2012, p. 89-96.

38. N. Middleton, P. Yiallouros, N. Nicolaou *et al.*, « Residential exposure to motor vehicle emissions and the risk of wheezing among 7-8 year-old schoolchildren: a city-wide cross-sectional study in Nicosia, Cyprus », *Environmental Health*, 9, 2010, p. 1-17.

39. S. Premji, F. Bertrand, A. Smargiassi et M. Daniel, « Socio-economic correlates of municipal-level pollution emissions on Montreal Island », *Canadian Journal of Public Health*, 139, 2007, p. 138-142.

40. S. Kershaw, S. Gower, C. Rinner et M. Campbell, « Identifying inequitable exposure to toxic air pollution in racialized and low-income neighbourhoods to support pollution prevention », *Geospatial Health*, 7, 2013, p. 265-278.